



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“EFECTO PRECIPITANTE DEL HIDRÓXIDO DE SODIO Y ÓXIDO DE  
MAGNESIO EN LA REMOCIÓN DE CROMO DEL EFLUENTE DE  
CURTIDO, INVERSIONES HAROD S.A.C.”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**MENDOZA QUINTOS, ROBERTO ELÍ**

**ASESOR:**

**MSc. VALDERRAMA RAMOS, ISIDORO**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

**CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2016**

**JURADO EVALUADOR**

---

**Ing. Medardo Alberto Quezada**  
**PRESIDENTE**

---

**Ing. Misael Ydilbrando Villacorta**  
**SECRETARIO**

---

**Ing. Isidoro Valderrama Ramos**  
**VOCAL**

**TRUJILLO-PERU**

**2016**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado en primer lugar a Dios por iluminar mi camino, a mis padres por apoyarme siempre y nunca dejarme solo, a mi asesor por brindarme sus conocimientos y paciencia, a toda mi familia por constituir la parte esencial de mi vida y a todos mis amigos quienes estuvieron a mi lado en los buenos y malos momentos.

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios y a todos quienes me apoyaron en la realización de esta investigación, en especial a mis padres, familiares y amigos por brindarme todo lo necesario para que este trabajo sea exitoso.

A mi asesor, el Msc. Ingeniero Isidoro Valderrama Ramos por sus conocimientos asesoría y paciencia

A todos mis compañeros y amigos que fueron un pilar esencial para la complementación de este trabajo.

## DECLARACION DE AUTORIA

Yo Roberto Elí Mendoza Quintos, estudiante de la escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad Cesar Vallejo sede/ filial TRUJILLO.; declaro:

Que el trabajo académico titulado:

“EFECTO PRECIPITANTE DEL HIDRÓXIDO DE SODIO Y ÓXIDO DE MAGNESIO EN LA REMOCIÓN DE CROMO DEL EFLUENTE DE CURTIDO, INVERSIONES HAROD S.A.C.”

Para la obtención del título profesional de INGENIERO AMBIENTAL es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación, identificando correctamente toda cita textual o de para frasis proveniente de otras fuentes, de acuerdo con lo establecido por las normas de elaboración de trabajos académicos.
- No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completo ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
- De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Trujillo, 22 de Noviembre del 2016

---

Firma  
DNI: 74028155

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la tesis titula “Efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción de cromo del efluente de curtido, INVERSIONES HAROD S.A.C.”, con la finalidad de determinar el efecto del tratamiento con la combinación de un álcali mixto de hidróxido de sodio y óxido de magnesio sobre la remoción de cromo, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo para obtener el Título profesional de Ingeniero Ambiental.

El documento consta de 8 capítulos: en el primer capítulo ubicamos la introducción, en el segundo capítulo ubicamos el marco metodológico, en el tercer capítulo ubicamos los resultados, en el cuarto capítulo ubicamos la discusión de resultados, en el quintos capitulo ubicamos las conclusiones, el en sexto capítulo ubicamos las recomendaciones, en el séptimo capítulo ubicamos las referencias bibliográficas, finalmente en los anexos se encuentran los instrumentos, imágenes, tablas, etc., usados para esta investigación.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

El autor

# ÍNDICE

## CONTENIDO

ÍNDICE.....	7
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	11
1.2. TRABAJOS PREVIOS.....	12
1.3. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA .....	14
1.3.1. MARCO TEÓRICO .....	14
1.3.2. MARCO CONCEPTUAL .....	18
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	20
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	20
1.7. OBJETIVOS .....	21
1.7.1. OBJETIVO GENERAL: .....	21
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	21
II. MÉTODO .....	21
2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN .....	22
2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	23
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD .....	24
2.4.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	24
2.4.2. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	25
2.5. METODOS DE ANALISIS DE DATOS.....	26
2.6. ASPECTOS ÉTICOS.....	26
III. RESULTADOS .....	27
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	32
V. CONCLUSIONES.....	35
VI. RECOMENDACIONES.....	36
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
ANEXOS.....	42

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de INVERSIONES HAROD S.A.C. ....	15
<b>Figura 2.</b> Diagrama de bloques del procesamiento de curtido de cuero, Inversiones HAROD S.A.C. ....	16
<b>Figura 3.</b> porcentaje de remoción de Cr a 30 y 60 minutos de agitación .....	29
<b>Figura 4.</b> Medias marginales estimadas.....	32
<b>Figura 5.</b> Curva de calibración de Cromo Total.....	43
<b>Figura 6.</b> Efluente de curtido, HAROD S.A.C .....	44
<b>Figura 7.</b> Muestreo del efluente de curtido. ....	44
<b>Figura 8.</b> Filtración de la muestra .....	45
<b>Figura 9.</b> Digestión de la muestra .....	45
<b>Figura 10.</b> Titulación de muestra digerida con Tiosulfato de sodio 0.1 N .....	46
<b>Figura 11.</b> Hidróxido de sodio (Izquierda) - óxido de magnesio (derecha) .....	46
<b>Figura 12.</b> Pesaje del NaOH y MgO.....	45
<b>Figura 13.</b> Adición de la dosis de NaOH y MgO.....	47
<b>Figura 14.</b> Agitación de la muestra con agitadores magnéticos .....	47
<b>Figura 15.</b> Medición de pH después de agitación .....	48
<b>Figura 16.</b> Precipitación de Cr después de 1 hora.....	46
<b>Figura 17.</b> Precipitación de Cr después de 8 horas .....	48
<b>Figura 18.</b> Filtración al vacío del hidróxido de cromo III precipitado.....	49
<b>Figura 19.</b> Hidróxido de cromo III precipitado.....	47
<b>Figura 20.</b> Blanco y aguas madres tratadas .....	49
<b>Figura 21.</b> Reporte de análisis de cromo a 30 minutos de agitación.....	51
<b>Figura 22.</b> Reporte de análisis de cromo a 60 minutos de agitación.....	52

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diseño de investigación .....	22
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de variables.....	23
<b>Tabla 3.</b> Parámetros Fisicoquímicos a analizar en el efluente de curtido .....	24
<b>Tabla 4.</b> Equipos, instrumentos, reactivos e insumos químicos.....	25
<b>Tabla 5.</b> Listado de Normas Metrológicas Peruanas.....	26
<b>Tabla 6.</b> Caracterización de la muestra del efluente de curtido.....	27
<b>Tabla 7.</b> Concentración de cromo (mg/L) en el agua residual de curtido, después de la precipitación con hidróxido de sodio y óxido de magnesio .....	28
<b>Tabla 8.</b> Prueba de Normalidad.....	29
<b>Tabla 9.</b> Efecto de las dosis y la interacción con el tiempo para remover el cromo .....	30



## RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de obtener un proceso que permita disminuir la concentración de cromo del efluente de curtido, de la empresa INVERSIONES HAROD S.A.C., mediante el tratamiento con un álcali mixto de hidróxido de sodio y óxido de magnesio. El diseño que se aplicó en la investigación fue un diseño experimental unifactorial, la muestra fue de 5 litros de efluente de curtido, el método de procesamiento de análisis de datos fue el anova para probar las hipótesis. La determinación de la concentración de cromo antes del proceso de precipitación se desarrolló por el método de volumetría, las concentraciones de cromo después de los tratamientos se determinaron por el método de espectrofotometría de absorción atómica a llama. En conclusión se logró remover cromo del efluente de curtido en un 99,96 % con una dosificación de hidróxido de sodio y óxido de magnesio de 3:2 y un tiempo de agitación de 60 minutos, reduciendo de 42 915 ppm hasta 16,7 ppm de cromo respectivamente un valor muy cerca a los VMA (Valores máximos admisibles) establecidos por D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.

**Palabras clave:** efluente de curtido, curtiembres, cromo, precipitación, remoción.

## ABTRACT

The present investigation was carried out in order to obtain a process that reduces the concentration of chromium from the tanning effluent of the company INVERSIONES HAROD S.A.C. through the treatment with a mixed alkali of sodium hydroxide and magnesium oxide. The design applied in the research was a unifactorial experimental design, the sample was composed of 5 liters of tanning effluent and the data analysis processing method was anova to test the hypotheses. The volumetric method determined chromium concentration before the precipitation process whereas the method of atomic absorption photo-spectrometry determined chromium concentration after the treatments. In conclusion, it was possible to remove chromium from the tanning effluent in 99.96% with a sodium hydroxide and magnesium oxide dose of 3: 2 and a stirring time of 60 minutes. This reduced 42 915 ppm to 16.7 ppm (parts per million) of chromium respectively, which is a value very close to maximum allowable values (MAV) established by S.D. (Supreme Decree) N°. 021-2009- HOUSING.

**Keywords:** tanning effluent, tanneries, chrome, precipitation, removal.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Las curtiembres son industrias de alto impacto en el aspecto económico, social y ambiental, por la cantidad de recursos que movilizan tienen una participación de 11% en el mercado mundial del cuero. La calidad del cuero depende principalmente de la cantidad y homogeneidad del cromo fijado en el colágeno de la piel. En la etapa de curtido se utiliza exceso de cromo para garantizar la fijación de éste en las proteínas de la piel y evitar la descomposición del cuero, pero la mayoría de las aguas residuales de estas industrias no cuentan con un tratamiento adecuado, esto trae consigo el deterioro de los recursos naturales y la salud de la población. (CAR, 2009). En el Perú muchas curtiembres formales han cerrado, pero han reaparecido como curtiembres informales, asimismo muchas de ellas alquilan sus servicios a curtidores informales como un medio para generar ingresos. (MERA R, et. al, 2010).

El cromo es un contaminante cuyo límite máximo permisible para alcantarillado es de 2,0 mg/L (Decreto supremo N° 003 – 2002 – PRODUCE). Los efluentes de la etapa de curtido tienen pH ácido, entre 2 y 4 en este rango de pH el cromo trivalente es muy soluble y los floculantes prácticamente no alcanzan a precipitarlo.

En La región de La Libertad, se encuentran registradas aproximadamente 25 curtiembres que representan el 30% de las industrias curtidoras que hay en el país, pero la mayoría de ellas son informales. Casi todas son pequeñas fábricas de origen familiar, con poca tecnificación y personal no capacitado (Marcos, 2014).

La mayoría de las aguas residuales de las industrias curtidoras de la Libertad no cuentan con suficiente tratamiento y por lo tanto salen con

concentraciones de cromo muy elevados, éstas son descargadas al sistema de alcantarillado, contaminando así el recurso hídrico y afectando la vida acuática existente en el ecosistema marino.

Inversiones HAROD S.A.C. actualmente tiene un déficit en su organización, política ambiental y tratamiento de sus efluentes; ya que gran parte de éstos no reciben un tratamiento, como consecuencia de esto se han generado pérdidas en su estado financiero de la empresa y principalmente la contaminación del recurso hídrico afectando el desarrollo de las especies y otras actividades económicas.

## **1.2. TRABAJOS PREVIOS**

- **Según ORTIZ PENAGOS, Nidia Elena (2014)** en su Tesis: “Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de San Benito (Bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente”. Su objetivo general fue determinar el porcentaje de recuperación y reutilización de cromo del efluente residual del proceso de curtido mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente, Con un Enfoque de tipo cuantitativo donde se pretendió determinar, inicialmente, el porcentaje de cromo precipitado del agua residual, con hidróxido de sodio. Trabajó con un diseño experimental mono – variable, evaluando el efecto de la concentración de hidróxido de sodio (4 molar, 5 molar y soda cáustica sin disolver) para así obtener un pH inicial de 9. Llegando a la conclusión que se obtuvo una reducción de la concentración de cromo mayor a 99,90 % con niveles entre 0,7 mg/L y 2,475 mg/L. La reducción de la concentración de cromo fue de 99,97 % correspondiente a una concentración de cromo de 0,791 mg/L en el agua descontaminada de cromo.
- **Asimismo HUI Li y ZIFANG chi. (2014).** En su artículo “La recuperación de cromo mejorada a partir de residuos curtidos por la

reacción ácido - alcalino en China.” Se pusieron a prueba un álcali mixto de hidróxido de sodio y óxido de magnesio y ácidos minerales diluidos para mejorar el efecto de sedimentación de cromo trivalente de las aguas residuales curtidoría. Los resultados mostraron que el álcali más factible era una mezcla de hidróxido de sodio y óxido de magnesio con una relación de masa de 5:2, a pH 9,5. La eliminación de cromo fue de 99,1%.

- **Asimismo ZHEN-Ren Guo y GUANGMING Zhang (2005).** En su artículo “La recuperación de cromo de las aguas residuales de bronceado, China”. Se usó óxido de calcio y óxido de magnesio para mejorar la sedimentación del precipitado, La sustitución de NaOH con CaO o MgO dio lugar a mucho menos de lodos y un menor tiempo de sedimentación. El óxido de magnesio también mejoró la pureza y la deshidratación de la capacidad de los lodos. El mejor alcalino era una mezcla de CaO y MgO (4:1, en peso) para equilibrar el coste y el rendimiento. La DQO y SS fueron retirados en el proceso a través barrido por el precipitado con porcentajes de eliminación de 47,6% y 86,3%, respectivamente. Dos minutos sonicación a 0,12 W / cm<sup>3</sup> macelerado en gran medida la sedimentación de lodos, cortando el tiempo de establecimiento de 3 h a 1 h. La sonicación no alteró el tamaño de partícula o pureza de los lodos. La irradiación de microondas de 5 min. incrementó la relación de recuperación Cr del 60% al 80%.
- **Según la APA (2002),** en su Manual de BPA, plantea algunas alternativas de tecnologías limpias que se pueden aplicar a las distintas etapas del proceso de producción de cuero, incluyendo el método de precipitación y recuperación del cromo de los efluentes de la etapa de curtido con agentes alcalinos, dando una descripción breve y general del proceso, considerando necesario el calentamiento del precipitado de

cromo básico obtenido para la regeneración de la sal de cromo para curtir.

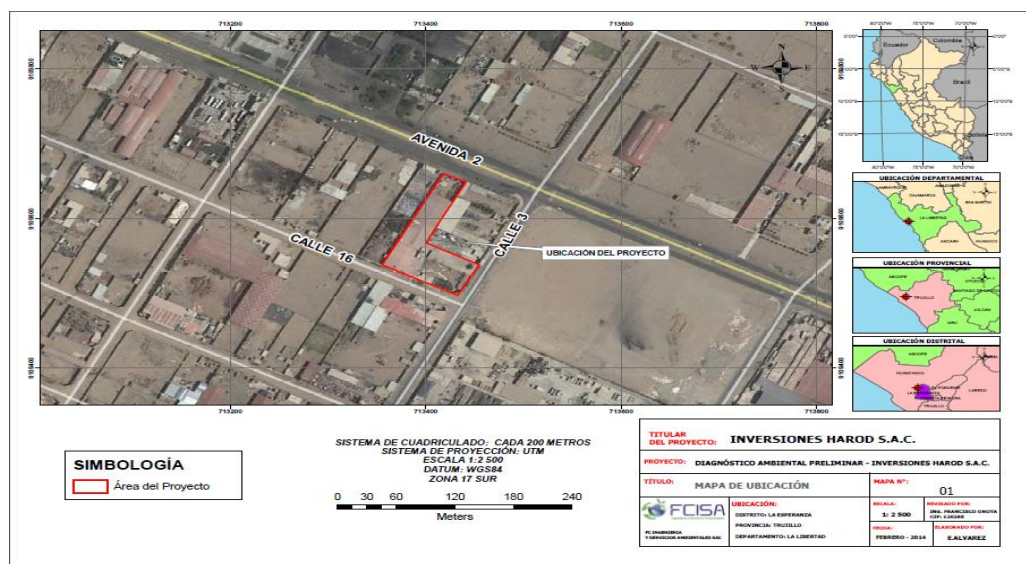
- **Asimismo REY DE CASTRO ROSAS, Ana Cristina, Lima (2013).** En su tesis “Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo”, teniendo como objetivo general: Recuperación del cromo (III) de los efluentes de curtiembre, se propuso un proceso de recuperación de cromo mediante precipitación con Hidróxido de sodio e hidróxido de calcio. De esto se produjo  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , el cual se disolvió con ácido sulfúrico para producir nuevos baños de  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , y poder usarlos nuevamente en el proceso productivo. Se comprobó que es viable recuperar el cromo de los efluentes de curtido mediante el método de precipitación. Las recuperaciones tuvieron eficiencias sumamente altas, cuando se usaron agentes precipitantes grado QP la eficiencia estaba entre el 95,6 – 98,8%, y de 81,9 – 84,4% con agentes precipitantes comerciales. Los porcentajes fueron más bajos al usar agentes de grado industrial ya que estos no tienen la misma pureza que los de grado de laboratorio. Sin embargo, esta baja pureza puede ser compensada al utilizar mayores masas de reactivo de grado industrial.

### **1.3. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA**

#### **1.3.1. MARCO TEÓRICO**

##### **Ubicación**

Inversiones HAROD SAC se ubica en el Parque industrial de Trujillo, Manzana C3, Lotes 1, 18, 23, 24; esquina: calle 16, calle 3, y Avenida 2; en el distrito La Esperanza, Provincia de Trujillo; Región La Libertad.

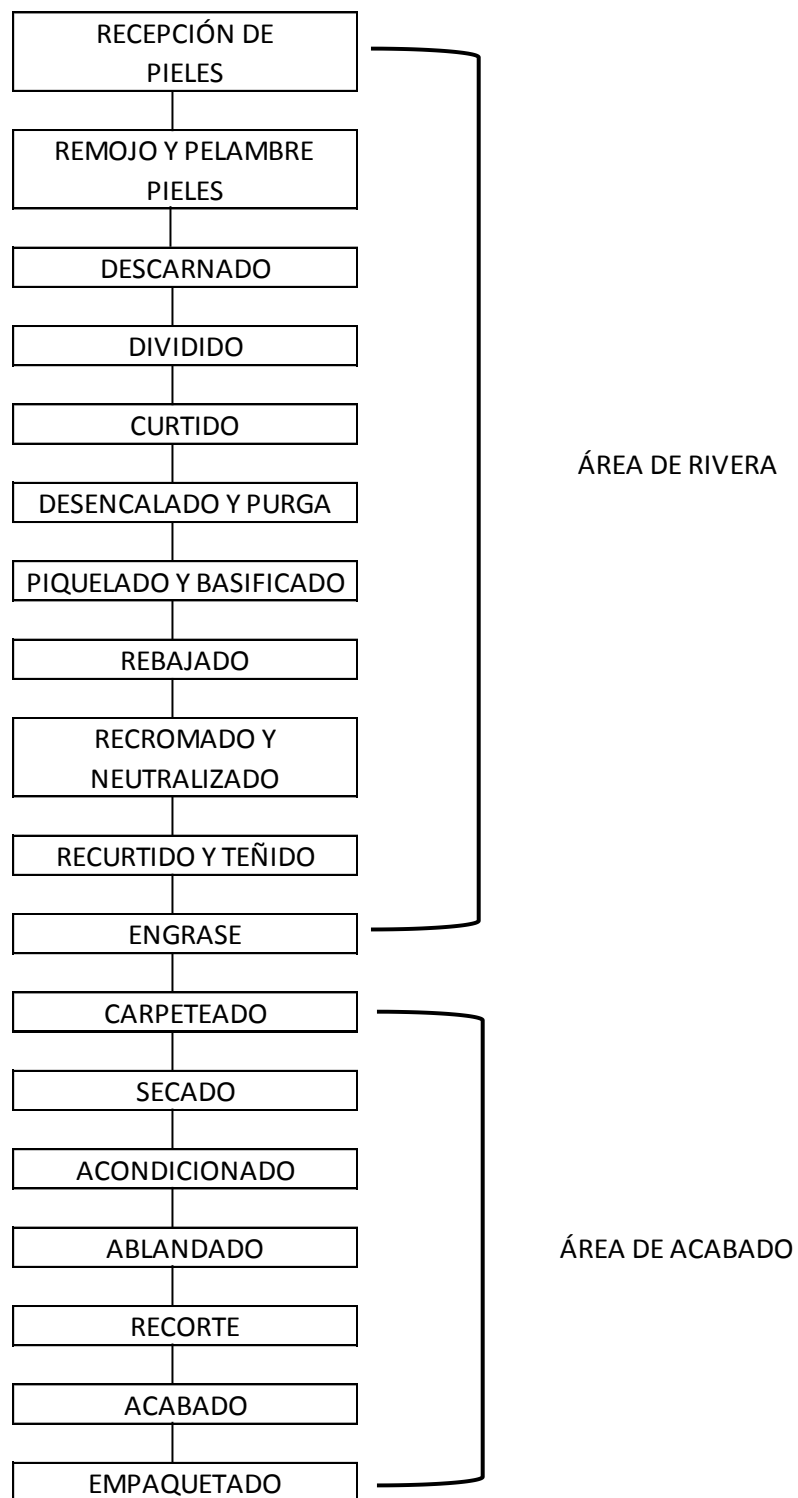


**Figura 1.** Ubicación geográfica de INVERSIONES HAROD S.A.C.

*Fuente: Elaborado por FCISA*

## PROCESO PRODUCTIVO DE INVERSIONES HAROD S.A.C.

Inversiones HAROD S.A.C. trabaja con piel de ganado vacuno. La transformación de la piel del animal a cuero, involucra una serie de etapas que determinaran la calidad del producto final. La planta tiene dos áreas, el área húmeda o de rívera y el área en seco o acabados; donde, a su vez el proceso productivo se divide en cuatro etapas: Remojo y pelambre, curtido, recurtido y acabado, dentro de estos procesos se encuentran las actividades que se describen a continuación en el siguiente diagrama.



**Figura 2.** Diagrama de bloques del procesamiento de curtido de cuero, Inversiones HAROD S.A.C.



## CONTAMINACIÓN HÍDRICA POR INDUSTRIAS DE CURTIEMBRES:

El cromo es un contaminante cuyo límite máximo permisible como cromo total para alcantarillado es de 2,0 mg/L (Decreto Supremo N° 003 – 2002 – PRODUCE).

Los procesos de curtido producen diversos tipos de contaminación en el agua, siendo los más significativos: la materia orgánica, cal, sal, cromo, colorantes y sólidos en suspensión (Alzate et al., 2004).

En Primer lugar las pieles son lavadas para retirar la sal adicionada para su conservación y material orgánico como sangre y grasa; ésta actividad contamina las aguas residuales con sales y materia orgánica. Después las pieles son tratadas con cal y sulfuro de sodio en el proceso de pelambre para retirar el pelo en medio básico. Sin embargo, estas aguas residuales desechadas después de un proceso de lavado denominado desencalado, se mezclan con las aguas de los siguientes procesos que corresponden al piquelado y el curtido, que son ácidas, produciendo ácido sulfhídrico altamente tóxico y muy volátil, afectando la atmósfera y la salud del personal dentro y entorno a las curtiembres. (Alzate *et al.*, 2004).

En la etapa de curtido se utiliza cromo en exceso para evitar la degradación de las pieles, transformándolas en cuero; (Blackman, 2005).

Finalmente, el cuero es tratado en las actividades de teñido y acabados para darle las propiedades deseadas, en ésta etapa se produce elevada contaminación por exceso de colorantes y grasas en las aguas residuales (Comunidad del cuero, 2003).

## PRECIPITACIÓN DEL CROMO

El principio del proceso de recuperación de cromo, consiste en precipitar el cromo contenido en el efluente de curtido como hidróxido utilizando un álcali; este precipitado se separa por sedimentación y se disuelve

nuevamente con ácido sulfúrico para ser reusado para curtir las pieles. (AGUDELO A. Sandra, 2007)

#### AGENTES PRECIPITANTES DEL CROMO:

Los cuatro agentes precipitantes más adecuados para precipitar el cromo son: el óxido de magnesio (MgO), la cal (CaO), el bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>) y la soda cáustica o hidróxido de sodio (NaOH).

El hidróxido de sodio es una base fuerte que favorece la reacción con el ion Cr<sup>+3</sup> para formar el hidróxido de cromo; en calidad de grado industrial tiene un costo relativamente bajo y es de mayor pureza que la cal; además el ion sodio es más tolerante en las aguas residuales que los demás iones metálicos. (EPA *et. al.*, 2006).

#### 1.3.2. MARCO CONCEPTUAL

- CROMO TRIVALENTE

Está presente en aguas naturales en la forma hidrolizada. Es usado en muchas actividades comerciales como teñidos, pigmentos, pinturas y sales para curtir el cuero. (Sánchez, Moreno, y Gismera, 2009).

- CROMO HEXAVALENTE

Es encontrado bajo la forma de cromato o dicromato dependiendo del pH que se encuentre, es considerado una sustancia cancerígena y perjudicial para las especies acuáticas. (Sánchez y Gismera, 2009)

- LA PRECIPITACIÓN QUÍMICA

Es la separación de sustancias por asentamiento gravitacional, mediante el agregado de reactivos químicos que alteran su estado físico su solubilidad

(precipitantes, coagulantes, floculantes, etc.). La precipitación química es un proceso de tres pasos que consiste en: coagulación, floculación y sedimentación. (Jesús Kaifer, 2006).

- **RECUPERACIÓN DE CROMO MEDIANTE PRECIPITACIÓN**

El principio del proceso de recuperación de cromo, consiste en precipitar el cromo contenido en el licor residual como hidróxido utilizando un álcali, posteriormente se separa el precipitado por sedimentación y se disuelve nuevamente con ácido sulfúrico (Gutiérrez M. Paula, 2007).

- **AGITACIÓN QUÍMICA**

La agitación consiste en forzar un fluido por medios mecánicos para que ocurra un movimiento circulatorio en dentro de un recipiente. Es una variable que influye directamente en la remoción de cromo y generalmente a velocidades altas la eficiencia es mayor. (Jesús Kaifer, 2006).

- **EL HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)**

Es una base fuerte que favorece la reacción con el ion ( $\text{Cr}^{+3}$ ) para formar el hidróxido de cromo, en calidad de grado industrial tiene un precio bajo y es de mayor pureza que la cal. (Gutiérrez M. Paula, 2007).

- **EL ÓXIDO MAGNÉSICO (MgO)**

Logra una remoción de cromo superior a 99% en las aguas residuales del proceso de curtido, la precipitación con óxido magnésico arroja lodos de excelente calidad fácilmente separables durante la sedimentación. (Gutiérrez M. Paula, 2007).

#### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción de cromo del efluente de la etapa de curtido de Inversiones HAROD S.A.C.?

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

En Inversiones HAROD SAC, se curten aproximadamente 300 pieles diarias utilizando en ésta etapa un promedio de 6 metros cúbicos de agua y 7 % de cromo del peso total de pieles que son vertidos al sistema de alcantarillado sin previo tratamiento; es por ello que se desarrolló esta investigación, con el objetivo de determinar el efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción de cromo del efluente de la etapa de curtido. La investigación servirá como base para futuras investigaciones que desarrollen nuevos y eficientes procesos de precipitación para la remoción de cromo a nivel industrial, permitiendo a las empresas recuperar el cromo para posteriormente reusarlo en el proceso curtido de cuero.

#### **1.6. HIPÓTESIS**

**H<sub>1</sub>:** Un proceso de precipitación con hidróxido de sodio (NaOH) y óxido de magnesio (MgO), disminuye la presencia de cromo del efluente de la etapa de curtido, generados por Inversiones HAROD S.A.C.

**H<sub>0</sub>:** Un proceso de precipitación con hidróxido de sodio (NaOH) y óxido de magnesio (MgO), no disminuye la presencia de cromo del efluente de la etapa de curtido, generados por Inversiones HAROD S.A.C.

## 1.7. OBJETIVOS

### 1.7.1. OBJETIVO GENERAL:

- ✓ Determinar el efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción de cromo del efluente de la etapa de curtido de Inversiones HAROD S.A.C, a nivel laboratorio.

### 1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Determinar la dosis de hidróxido de sodio y óxido de magnesio usado para la remoción de cromo del efluente de la etapa de curtido de inversiones HAROD S.A.C.
- ✓ Determinar el tiempo de agitación del proceso de precipitación con hidróxido de sodio y óxido de magnesio, para la remoción de cromo del efluente de la etapa de curtido de inversiones HAROD S.A.C.

## II. MÉTODO

### 2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación presenta un diseño experimental unifactorial; existe solo una variable respuesta y un solo factor (precipitación), con dos niveles

- Dosis en gramos de NaOH y MgO (3:2, 4:2, 5:2, 6:2)
- Tiempo de agitación (30, 60 minutos)

Primer nivel (D)					Segundo nivel (t)	
D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	Grupo Control	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>

$M_0 \longrightarrow M_0$

$M_0 \xrightarrow{X_i} M_0$

$Y_i$

$X_i$ : NaOH y MgO

$Y_i$ : Remoción de cromo

**Tabla 1.** Diseño de investigación

	$D_1$ (gr/L) (3:2)	$D_2$ (gr) (4:2)	$D_3$ (gr) (5:2)	$D_4$ (gr) (6:2)	Total Combinado t	N° de Repeti- ciones
$t_1$ (1/2h)	$D_1 t_1$	$D_2 t_1$	$D_3 t_1$	$D_4 t_1$	$4t_1$	<b>3</b>
$t_2$ (1h)	$D_1 t_2$	$D_2 t_2$	$D_3 t_2$	$D_4 t_2$	$4t_2$	
Total Combinado D	$4D_1$	$4D_2$	$4D_3$	$4D_4$	$4 \times 2$	

Fuente: propia

Velocidad de agitación constante = 200 rpm

Donde:

D = Dosis de hidróxido de sodio y óxido de magnesio (gr)

$D_1$  = dosis (3:2)     $D_2$  = dosis (4:2)

$D_3$  = dosis (5:2)     $D_4$  = dosis (6:2)

t = Tiempo de agitación

$t_1$  = primer tiempo (1/2 hora)

$t_2$  = primer tiempo (1 hora)

## 2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Precipitación

SUBVARIABLES INDEPENDIENTES

- Dosis de NaOH y MgO
- Tiempo de agitación

## VARIABLES DEPENDIENTES:

- Eficiencia del proceso de precipitación con hidróxido de sodio (NaOH) y óxido de magnesio (MgO).

### 2.2.1. Operacionalización de variables

**Tabla 2.** Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Precipitación	Dosis de hidróxido de sodio y óxido de magnesio.	Es la cantidad eficiente para lograr que el cromo precipite. (Gutiérrez M. Paula, 2007).	Se evaluaron cuatro Dosis de NaOH y MgO (3:2; 4:2; 5:2; 6:2) en peso (gr) medidos mediante una balanza analítica calibrada.	Cantidad de NaOH – MgO	Razón
	Tiempo de agitación del hidróxido de sodio y óxido de magnesio.	Es el tiempo para que un fluido adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. (Gutiérrez M. Paula, 2007).	Se evaluaron dos tiempos (1/2h y 1h) mediante un cronómetro calibrado.	Tiempo eficiente para precipitar el cromo.	Razón
Eficiencia del proceso de precipitación con hidróxido de sodio y óxido de magnesio.		Es la concentración removida sobre la concentración inicial de Cr por 100, mediante el proceso de precipitación con hidróxido de sodio y óxido de magnesio (Jesús Kaifer, 2006).	Se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica a la llama, aplicando la siguiente fórmula: $\frac{[Cr\ rem. - [Cr\ inicial]}{[Cr\ inicial]} * 100$	% precipitado de Cr	Razón

## 2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

- Población:

La población estuvo definida por 6 m<sup>3</sup> de efluente, generados en la etapa de curtido de Inversiones HAROD S.A.C.

- Muestra:

La muestra fue obtenida mediante un muestreo aleatorio simple, representada en 6 litros de efluente, obtenida en el escurrido del botal de la etapa de curtido de Inversiones HAROD S.A.C, y fue muestreada según *El Protocolo de monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del Agua – DGCRH*.

- Unidad de análisis:

Se usó 250 ml. de efluente de curtido para cada dosificación con hidróxido de sodio y óxido de magnesio para precipitar el cromo presente en la muestra.

## 2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

### 2.4.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La determinación de los parámetros fisicoquímicos del efluente residual proceso de curtido: se realizaron mediante los métodos normalizados para análisis de aguas residuales

**Tabla 3.** Parámetros Fisicoquímicos a analizar en el efluente de curtido

PARÁMETRO FISICOQUÍMICO	MÉTODO CÓDIGO SM
Cromo Total (mg/L)	Volumetría / Espectrofotometría de absorción atómica a la llama
pH	Potenciometría – 4500 B
Temperatura ( °C)	Termómetro
Conductividad	Conductimetría



Fuente: propia

**Tabla 4.** Equipos, instrumentos, reactivos e insumos químicos

EQUIPOS E INSTRUMENTOS	MATERIALES	REACTIVOS	INSUMOS QUÍMICOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza Analítica digital calibrada.</li> <li>- pH – metro</li> <li>- Termómetro</li> <li>- Agitador magnético</li> <li>- Cámara extractora</li> <li>- Espectrofotómetro UV/VIS.</li> <li>- Espectrofotómetro de absorción atómica a la llama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 08 fioles de 1000 ml.</li> <li>- 04 Matraces de 500 ml</li> <li>- 08 vasos de precipitación de 500 y1000 ml.</li> <li>- pipetas volumétricas de 5, 10, 25 ml.</li> <li>- probeta de 25 ml.</li> <li>- bureta</li> <li>- varilla de vidrio</li> <li>- 10 papel filtro, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ácido sulfúrico <math>H_2SO_4</math> CC</li> <li>- Ácido perclórico <math>HClO_4</math> CC</li> <li>- Ácido fosfórico <math>H_3PO_4</math> 85%</li> <li>- Yoduro de potasio KI 10%</li> <li>- Almidón 1%</li> <li>- Ácido nítrico</li> <li>- Tiosulfato de sodio <math>Na_2S_2O_3</math> 0,1000N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidróxido de sodio.</li> <li>- Óxido de magnesio</li> <li>- Solución de cromo Trivalente.</li> <li>- Sulfato básico de cromo III, etc.</li> </ul>

Fuente: propia

#### 2.4.2. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Para la validación y confiabilidad de los equipos e instrumentos que se usaron para la investigación se tomó como referencia a la Ley N.° 30224, Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad. La Dirección de Metrología es un órgano de línea del INACAL, responsable de la elaboración y aprobación de las Normas Metrológicas Peruanas.

**Tabla 5.** Listado de Normas Metrológicas Peruanas

<b>Código</b>	<b>Español</b>	<b>Edición</b>
NMP 003:2009	Instrumento de pesaje de funcionamiento no automático.	2009
NMP 009:1999	Sistemas de medición de líquidos distintos al agua. Medidores volumétricos patrones	1999
NMP 020:2014	Termómetros eléctricos clínicos con dispositivo de máxima	2014

Fuente: propia

## **2.5. METODOS DE ANALISIS DE DATOS**

### **EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)**

Es una herramienta estadística que generaliza la t de student; se usó en la investigación para comparar entre sí las medias o varianzas de los resultados obtenidos en cada grupo de análisis desarrollados en laboratorio. Asimismo para el análisis de datos se usó:

- Regresión múltiple
- Prueba de Hipótesis,
- Prueba de normalidad, etc.

## **2.6. ASPECTOS ÉTICOS**

Con respecto a la recopilación de datos, fotografías de la empresa, ubicación y otros aspectos que son netamente de la empresa, no se brindó mayor detalle, ya que con ello se trata de llevar una armonía salvaguardando y respetando la privacidad de la empresa que facilitó la realización de la tesis. Lo que respecta al aspecto ético, se muestra el respecto en las citas bibliográficas, y así no haya problemas posteriores, respetando la Norma ISO 690, y demás consideraciones de la Universidad César Vallejo.

### III. RESULTADOS

Según antecedentes en primer lugar se debe determinar las principales características fisicoquímicas y organolépticas de la muestra del efluente de curtido; ya que éstas influyen directamente en el proceso de precipitación.

**Tabla 6.** Caracterización de la muestra del efluente de curtido

Parámetro fisicoquímico/organoléptico	Resultado	VMA (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA)
Color	Color verde azulado,	N.R
Olor	Fuerte olor a sulfuros	N.R
pH	3,8	6 – 9
Temperatura (°C)	37	<35
Conductividad	45,062	N.R

Se observa que la muestra del efluente de curtido presenta un color aparente verde azulado con un fuerte olor a sulfuros. Los parámetros fisicoquímicos de pH y temperatura sobrepasan los valores máximos admisibles (VMA), con valores de 3,8 y 37°C respectivamente.

La determinación inicial de cromo del efluente de curtido se determinó por el método de volumetría, a ésta muestra se aplicaron todos los tratamientos, basándose en el diseño unifactorial. Cada tratamiento se realizó por triplicado, para obtener al final la eficiencia de cada tratamiento. A continuación en la tabla 7 se presenta la concentración de cromo por cada tratamiento con NaOH y MgO.

**Tabla 7.** Concentración de cromo (mg/L) en el agua residual de curtido, después de la precipitación con hidróxido de sodio y óxido de magnesio

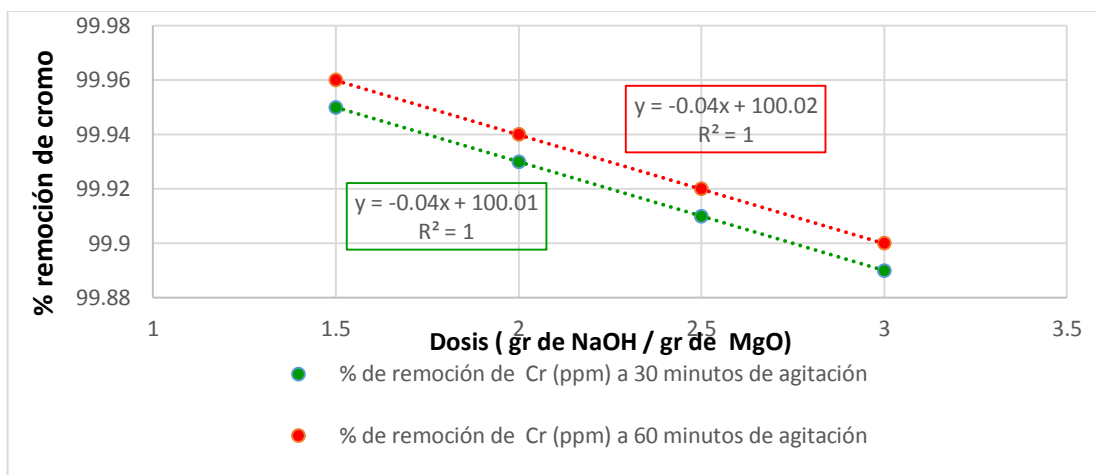
Tiempo agitación (min)	Relación Dosis de NaOH y MgO (gr)	Concentración inicial de cromo (ppm)	Concentración Final de cromo ( ppm)				pH	EFICIENCIA (%)
			1 rep.	2 rep.	3 rep.	$\bar{X}$		
30	3:2	42 915	24,9	22,7	20,6	<b>22,7</b>	9,03	99,95
	4:2		31,8	29,6	27,4	<b>28,5</b>	9,97	99,93
	5:2		40,3	38,1	36	<b>38,1</b>	10,68	99,91
	6:2		48,9	46,7	44,5	<b>46,7</b>	11,14	99,89
60	3:2	42 915	21,8	19,4	16,7	<b>19,3</b>	9,34	99,96
	4:2		30,7	28,6	26,7	<b>27,7</b>	9,99	99,94
	5:2		38,1	35,9	33,5	<b>35,8</b>	10,87	99,92
	6:2		46,8	44,5	42,6	<b>44,6</b>	11,26	99,90

*Fuente: propia*

Velocidad de agitación cte. = 200 rpm

tiempo de reposo = 24 horas

Se puede observar la interacción entre los niveles: tiempo de agitación (min) y la dosis de NaOH y MgO (gr), la concentración inicial de cromo fue de 42 915 ppm, también se visualiza las concentraciones finales de cromo de cada tratamiento, su promedio, el Ph al que se trabajaron y la eficiencia de cada tratamiento.



**Figura 3.** Porcentaje de remoción de Cr a 30 y 60 minutos de agitación

*Fuente: propia*

En la figura 3 se observa una relación inversa entre la dosis (gr de NaOH / gr de MgO) con el % de remoción de cromo. Se puede visualizar que al aumentar la dosificación la eficiencia es menor, caso contrario ocurre con el tiempo de agitación: ya que a 60 minutos de agitación se obtiene mayor remoción de cromo.

Según teorías para el análisis estadístico de los datos, se debe comprobar estadísticamente que éstos sigan una distribución normal, para ello en la tabla 8 se presenta la prueba de normalidad usando el método de Shapiro-Wilk; ya que se trabajó con una muestra menor a 50.

**Tabla 8.** Prueba de Normalidad

DOSIS		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig. (p)
REMOCION DE CROMO	3:2	,995	6	,998
	4:2	,971	6	,897
	5:2	,964	6	,853
	6:2	,672	6	,303

**H<sub>0</sub>:** Los valores de la remoción de cromo siguen una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** Los valores de la remoción de cromo no siguen una distribución normal.

Se observa que el valor  $p > 0.05$ , por lo tanto se acepta  $H_0$  y se afirma estadísticamente que los datos tienen una distribución normal, con un nivel de confiabilidad del 95 %.

Para determinar estadísticamente si la interacción entre la dosis y el tiempo de agitación influyen en la remoción de cromo del efluente de curtido, se debe aplicar una prueba multivariante. Dicha prueba se presenta a continuación en la tabla 9.

**Tabla 9.** Efecto de las dosis y la interacción con el tiempo para remover el cromo

Pruebas multivariante <sup>a</sup> (ANOVA)						
Efecto		Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.(p)
DOSIS *	Traza de Pillai	,993	91,424 <sup>b</sup>	3,000	2,000	,011
	Lambda de Wilks	,007	91,424 <sup>b</sup>	3,000	2,000	,011
TIEMPO	Traza de Hotelling	137,135	91,424 <sup>b</sup>	3,000	2,000	,011
	Raíz mayor de Roy	137,135	91,424 <sup>b</sup>	3,000	2,000	,011

a. Diseño : Intersección + TIEMPO

b. Estadístico exacto

**H<sub>0</sub>:** La interacción entre la dosis y el tiempo de agitación no tienen efectos significativos en la remoción de cromo

**H<sub>1</sub>:** La interacción entre la dosis y el tiempo de agitación tienen efectos significativos en la remoción de cromo

Se observa que  $P < 0.05$ , por lo tanto se rechaza  $H_0$  y se afirma que a que la interacción entre la dosis y el tiempo de agitación tienen efectos significativos en la remoción de cromo, con un nivel de confiabilidad del 95 %.

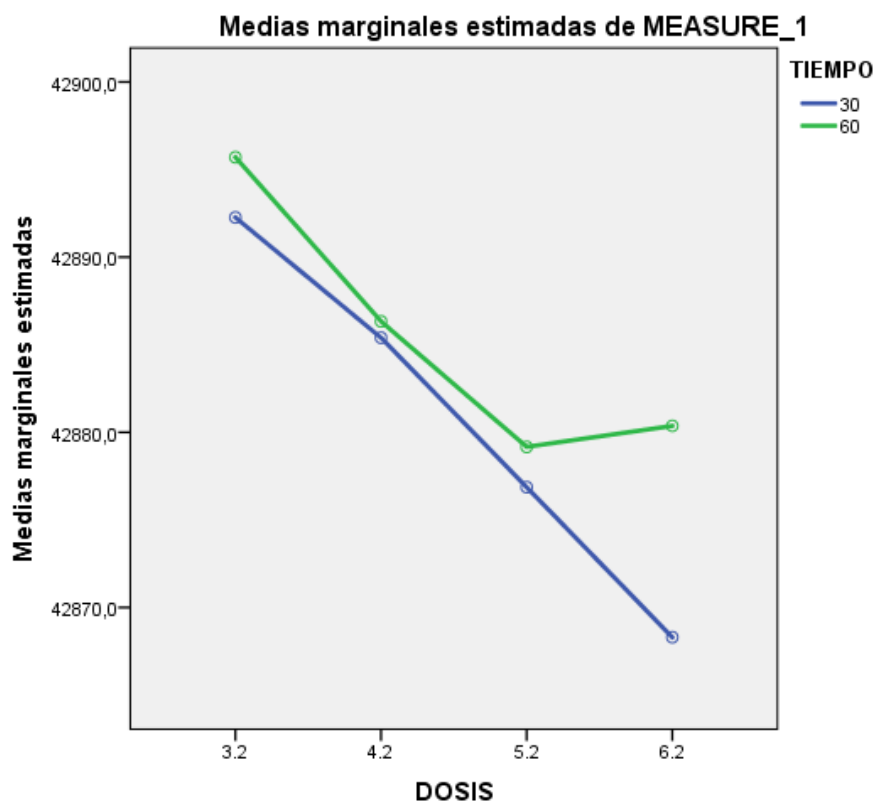
Al comprobar estadísticamente que la dosis y el tiempo de agitación tienen efectos significativos en la remoción de cromo, se debe realizar una estimación por

intervalos para determinar la mejor dosis de NaOH y MgO y el tiempo de agitación óptimo para la remoción de cromo del efluente de curtido.

**Tabla 10.** Estimación por intervalos *tiempo de agitación - dosis*

TIEMPO	DOSIS	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
30	3:2	42892,267	1,362	42888,485	42896,049
	4:2	42885,400	1,214	42882,029	42888,771
	5:2	42876,867	1,286	42873,297	42880,436
	6:2	42868,300	6,380	42850,585	42886,015
60	3:2	42895,700	1,362	42891,918	42899,482
	4:2	42886,333	1,214	42882,963	42889,704
	5:2	42879,167	1,286	42875,597	42882,736
	6,2	42880,367	6,380	42862,652	42898,082

Según la estimación por intervalos, la dosis con 3:2 de hidróxido de sodio y óxido de magnesio a 60 minutos de agitación del cromo es la que presenta mayor remoción de cromo, con un 95% de confiabilidad.



**Figura 4.** Medias marginales estimadas

En la figura 5. Se puede observar la relación entre la dosis y las medias marginales estimadas, con tiempo de agitación de 30 y 60 minutos. Gráficamente se puede observar que a una dosis de 3:2 y a 60 minutos de agitación se obtiene la mayor remoción de cromo.

#### **IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la tabla 6 se muestran las principales características fisicoquímicas y organolépticas de la muestra investigada, ésta presentó un color aparente verde azulado con restos de piel y un fuerte olor a sulfuros. Los parámetros de pH y temperatura que fueron medidos ínsito sobrepasaron los VMA (Valores máximos admisibles) estos fueron de 3,6 y 37°C respectivamente, valores similares a los que encontró Rey de Castro Rosas, Ana Cristina (2013). El resultado de la concentración inicial de cromo del efluente de



curtido se obtuvo usando el método volumétrico (ver anexo C), teniendo como resultado una concentración de 42 915 ppm de cromo. Esto confirma la teoría expuesta por (Alzate et al., 2014), quien menciona que los procesos de curtido producen elevadas concentraciones de cromo, afectando la salud y alterando el ambiente.

Según (AGUDELO A. Sandra, 2007), quien sustenta que para precipitar cromo presente en el efluente de curtido se utiliza un álcali mixto en los diferentes tratamientos, en los que se trabajó con un álcali mixto de hidróxido de sodio y óxido de magnesio. Asimismo según (EPA et. al., 2006), menciona que dos de los agentes precipitantes más eficientes para precipitar el cromo son el hidróxido de sodio y el óxido de magnesio. En el proceso experimental se trabajó con 4 dosis de NaOH y MgO (3:2, 4:2, 5:2 y 6:2 gramos), dosis similares a los que usaron (HUI Li y ZIFANG Chi. 2014). Según (Jesús Kaifer, 2006) el tiempo de agitación es una variable que influye directamente en la remoción de cromo y generalmente a velocidades altas la eficiencia es mayor. Por ello en el proceso experimental se manipularon dos tiempos de agitación de 30 y 60 minutos respectivamente.

Los diferentes tratamientos, están registrados en la tabla 7. Se trabajó con una velocidad de agitación cte. de 200 rpm para todos los tratamientos. Se observó una mayor remoción de cromo al trabajar con pH de 9,34 y un tiempo de reposo de 24 horas; al igual que ORTIZ PENAGOS, Nidia Elena (2014) y Rey de Castro Rosas, Ana Cristina (2013) el rango de pH óptimo para que el cromo precipite oscila entre 9 y 9.5 con un tiempo de reposo de 12 a 24 horas.

En las figuras 3 y 4, se observa la relación entre la dosis (gr de NaOH y gr MgO) con el porcentaje de remoción de cromo y las medias marginales, tomando en cuenta los tiempos de agitación de 30 y 60 minutos. Según ZHEN-Ren Guo y GUANGMING Zhang (2005). El óxido de magnesio

mejora la pureza y la deshidratación de la capacidad de los lodos. Gráficamente se observa que a una dosis de 3:2 gramos de NaOH y MgO y a 60 minutos de agitación se obtuvo la mayor remoción de cromo.

Un punto muy importante para el análisis estadístico de los resultados consiste en verificar que los datos mantengan una distribución normal; para ello en la tabla 8. Se puede visualizar la aplicación de la prueba de normalidad; debido a que el tamaño de la muestra fue menor a 50, se trabajó con la prueba de Shapiro-Wilk y se planteó las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** Los valores de la remoción de cromo siguen una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** Los valores de la remoción de cromo no siguen una distribución normal.

Se observa que el valor  $p > 0.05$ , por lo tanto se acepta H<sub>0</sub> y se afirma estadísticamente que los datos tienen una distribución normal, con un nivel de confiabilidad del 95 %.

Al igual que ORTIZ PENAGOS, Nidia Elena (2014) se aplicó el análisis de varianza (ver tabla 9), para ello se trabajó con la prueba multivariante para ver el efecto de las dosis de NaOH y MgO y la interacción con el tiempo de agitación de agitación para remover el cromo, planteando las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La interacción entre la dosis y el tiempo de agitación no tienen efectos significativos en la remoción de cromo.

**H<sub>1</sub>:** La interacción entre la dosis y el tiempo de agitación tienen efectos significativos en la remoción de cromo.

Se observa que  $P < 0.05$ , por lo tanto se rechaza H<sub>0</sub> y se afirma que a que la interacción entre la dosis y el tiempo de agitación tienen efectos significativos en la remoción de cromo, con un nivel de confiabilidad del 95 %.

Según la estimación por intervalos entre tiempo de agitación - dosis presentados en la tabla 10, se observa que a 60 minutos de agitación y la dosis de 3:2 (NaOH y MgO), presentan la mayor remoción de cromo, con un límite superior de 42 899,482, con un 95% de confiabilidad. Esto confirma la teoría de la APA (2002), quien plantea un proceso de precipitación con un álcali mixto es muy eficiente para la remoción de cromo de efluentes de curtiembre.

Se logró una reducción de la concentración de cromo del efluente de curtido de 42 915 ppm hasta 16,7 ppm, estando muy cerca a los VMA de 10 ppm según D.S. N° 021-2009-VIVIENDA. A diferencia de HUAI Li y ZIFANG Chi., quienes tuvieron una eficiencia del 99,1% con una dosis de (5:2); La mayor eficiencia en la presente investigación se obtuvo cuando se usó una dosis de (3:2) en gramos y un tiempo de agitación de 60 minutos; con un porcentaje de remoción de 99,96%. Esto confirma la teoría de (Gutiérrez M. Paula, 2007), quien afirma que el óxido de magnesio logra una remoción de cromo superior a 99%, también menciona que el hidróxido de sodio es una base fuerte que favorece la reacción con el ion ( $Cr^{+3}$ ) para formar hidróxido de cromo.

## **V. CONCLUSIONES**

- En el tratamiento de remoción de cromo del efluente de curtido de INVERSIONESHAROD S.A.C. utilizando un álcali mixto de hidróxido de

sodio y óxido de magnesio con una relación de dosis de 3:2 (g) y un tiempo de agitación de 60 min. se logró remover hasta en un 99,96%.

- Se determinó que el uso de dosis altas del álcali mixto NaOH y MgO influye de manera inversa en la remoción de cromo; esto se observó cuando se usó dosis menores y se obtuvieron mayores remociones.
- Se determinó que el tiempo de agitación influye de manera directa en la remoción de cromo del efluente de curtido, concluyéndose que los mejores resultados se obtuvieron a 60 minutos de agitación.
- Se determinó estadísticamente que la dosis de hidróxido de sodio y óxido de magnesio más el tiempo de agitación influyen significativamente en el porcentaje de remoción de cromo una confiabilidad del 95 %.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda trabajar con dosis menores de NaOH y MgO, a las utilizadas en el presente trabajo de investigación, para determinar si el proceso de precipitación es más eficiente.
- Evaluar el efecto de otras variables del proceso, tal como el pH, tiempo de reposo y temperatura.
- Se debe analizar el precipitado para determinar la concentración de cromo presente en él.
- Se recomienda para futuras investigaciones trabajar con el precipitado obtenido después del proceso de precipitación, con la condición de regenerarlo como insumo para el proceso de curtido.

## **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, CIATEC. Manual de Buenas Prácticas Ambientales para la Curtiembre en Centroamérica. [En línea]. 2006.

Disponible en: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PBAAC407.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PBAAC407.pdf)

A. M. Alzate Tejada. Proyecto Gestión Ambiental en la industria de Curtiembre en Colombia. Julio 26, 2008.

Disponible:

<http://www.tecnologiaslimpias.org/Curtiembre/EstrategiasDiagnostico.pdf>.

Corporación Autónoma Regional (CAR). (2009). Adecuación hidráulica y Recuperación ambiental Río Bogotá.

Disponible en

[http://www.car.gov.co/recursos\\_user/Proyectos%20Especiales/RIO%20BOGOTA/Evaluacion%20Ambiental%20Volumen%20I.pdf](http://www.car.gov.co/recursos_user/Proyectos%20Especiales/RIO%20BOGOTA/Evaluacion%20Ambiental%20Volumen%20I.pdf)

Consejo Internacional de Curtidores. La producción de cuero -Top 30 países - millones de pies cuadrados. [Fecha de consulta: Mayo 2016].

Disponible en: <http://www.tannerscouncil.org/ict%20stats2008.pdf>

FCISA. Elaboración del Diagnóstico Ambiental Preliminar de la empresa Inversiones HAROD SAC, Resumen Ejecutivo. Enero 2014.

GAMBOA, N y ESPARZA, E. Revista de Química Vol. 15. N° I. [online], Contaminación debida a la industria curtiembre Eliana Esparza y Nadia Gamboa "Pontificia Universidad Católica del Perú. Departamento de Lima Perú Junio del 2001.

Disponible

en:

<http://www.revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/viewFile/4756/4757>

GUTIERREZ M. Paula y AGUDELO Sandra. Ahorro de agua y materia prima en los procesos de pelambre y curtido del cuero mediante precipitación y recirculación de aguas. Dyna [online]. Colombia, Mayo 2007, vol. 74, [Consulted: April 2016].

Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/13430/1/927-4954-1-PB.pdf>  
ISSN: 2346-2183.

HUAI Li and Zifang chi. Improved recovery of chromium from tannery waste by acid reaction - alkaline in China. Scientific [online]. January 1, 2014, vol. 878, [Consulted: April 2016].

Disponible en: <http://www.scientific.net/AMR>  
ISSN: 1662-8985.

Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), Centro de Investigaciones Nucleares (CIN). Recuperación de Cromo y su Reuso en Curtiembres. Informe Final del Proyecto. Mayo, 2004. Disponible en: <http://www.ibten.gob.bo/portal/index.php>

INDECOPI (Perú). Ley N° 30224: Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad. 2014. Perú. 9p.

Disponible en: [https://www.indecopi.gob.pe/documents/20182/168903/nor\\_Ley\\_30224\\_INACAL.pdf/5c8cc07f-318c-4b89-8ed3-db6515c6d560](https://www.indecopi.gob.pe/documents/20182/168903/nor_Ley_30224_INACAL.pdf/5c8cc07f-318c-4b89-8ed3-db6515c6d560)

KAIFER, Jesús. Tratamientos físico-químicos de residuos. [Online]. 2006, [Consulted: April 2016].

Disponible en: <file:///D:/Users/Roberto/Downloads/componente45772.pdf>

MÉNDEZ R. Producción Limpia en la Industria de Curtiembres. [En línea]. La Coruña. Universidad de Santiago de Compostela. 2007. 403p.

Disponible en: [http://www.eula.cl/giba/images/contenidos/publicaciones/libros/Producci%C3%B3n\\_limpia\\_en\\_la\\_industria\\_de\\_curtiembres.pdf](http://www.eula.cl/giba/images/contenidos/publicaciones/libros/Producci%C3%B3n_limpia_en_la_industria_de_curtiembres.pdf)

MERA RIVERA, Gestión Ambiental para minimizar la contaminación generada por la industria de curtiembre en el distrito de El Porvenir.

Tesis (Ingeniero Agroindustrial). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 120 p.

MINISTERIO de Vivienda. Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. DS N° 021 – 2009 Vivienda.

ORTIZ PENAGOS, Nidia Elena. Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de San Benito (Bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente. Tesis (Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Bogotá: Universidad de Manizales, 2013. 123p.

Disponible en:  
[http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1076/1/Ortiz\\_Penagos\\_Nidia\\_Elena\\_2013.pdf](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1076/1/Ortiz_Penagos_Nidia_Elena_2013.pdf)

PRODUCE (Perú). Decreto Supremo N°003-2002: Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. 2002. Perú. 5p.

Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=3666](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=3666)

Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la Industria de Curtiembre. [Online], Colombia. Julio- Diciembre 2010.vol. 9, 17, pp. 41-50 p. Medellín, Colombia.

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v9n17/v9n17a04.pdf>

ISSN 1692-3324.



REY DE CASTRO ROSAS, Ana Cristina. Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Tesis (Licenciado en Química). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013. 103p.

Disponible en:  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5123/RE\\_DE\\_CVASTRO\\_ANA\\_CROMO\\_EFLUENTES\\_CURTIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5123/RE_DE_CVASTRO_ANA_CROMO_EFLUENTES_CURTIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SANCHEZ, Moreno y GUISMERA. Desarrollo de nuevos dispositivos potenciométricos para el análisis de especies de cromo. Tesis (Doctorado en Bioquímica). Madrid: Universidad Autónoma de, 2010.

Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/50842878\\_Desarrollo\\_de\\_nuevos\\_dispositivos\\_potenciometricos\\_para\\_el\\_analisis\\_de\\_especies\\_de\\_cromo](https://www.researchgate.net/publication/50842878_Desarrollo_de_nuevos_dispositivos_potenciometricos_para_el_analisis_de_especies_de_cromo)

VIVIENDA (Perú). Decreto Supremo N°021-2009: Valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. 2009. Perú. 4p.

Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=3666](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=3666)

ZHEN Guo - Ren and Zhang GUANGMING. Improved recovery of chromium tanning wastewater, China. Scientific [online]. March 25, 2005, vol. 14, [Consulted: May 2016].

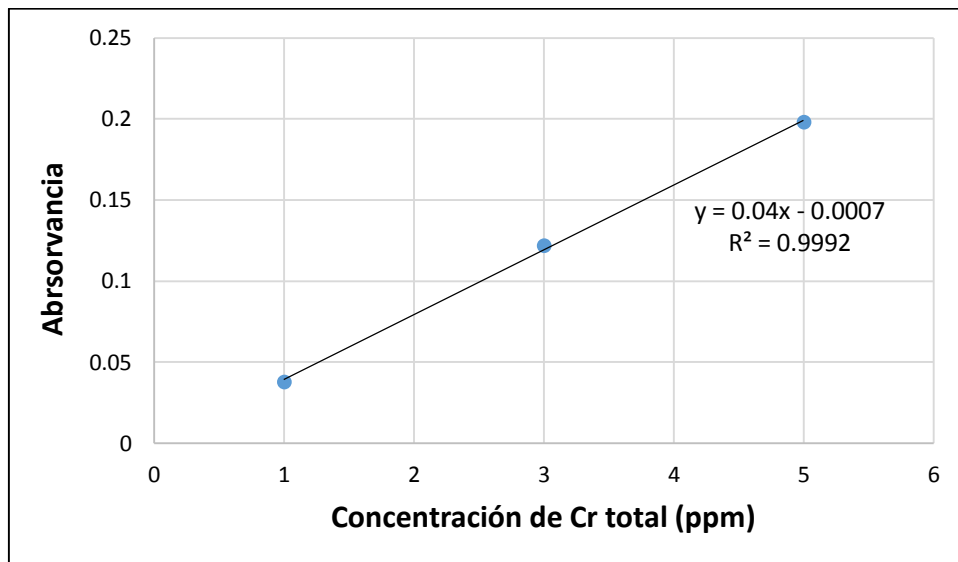
Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>

ISSN: 1880-132850.

## ANEXOS

## ANEXO A. CURVA DE CALIBRACIÓN DE CROMO TOTAL

Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 300 de Perkin Elmer.

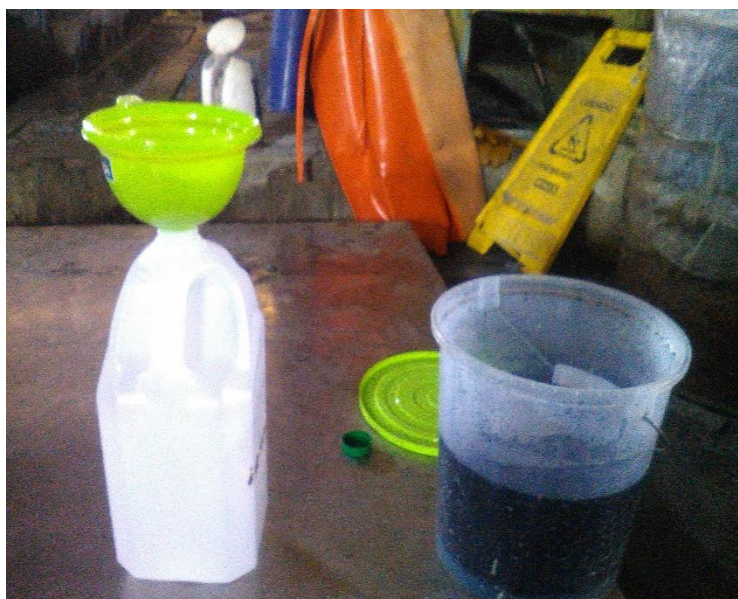


**Figura 5.** Curva de calibración de Cromo Total

## ANEXO B. REGIISTRO FOTOGRÁFICO



**Figura 6.** Efluente de curtido, HAROD S.A.C



**Figura 7.** Muestreo del efluente de curtido.



**Figura 8.** Filtración de la muestra



**Figura 9.** Digestión de la muestra





**Figura 10.** Titulación de muestra digerida con Tiosulfato de sodio 0.1 N



**Figura 11.** Hidróxido de sodio (Izquierda) - óxido de magnesio (derecha)



**Figura 12.** Pesaje del NaOH y MgO



**Figura 13.** Adición de la dosis de NaOH y MgO



**Figura 14.** Agitación de la muestra con agitadores magnéticos





**Figura 15.** Medición de pH después de agitación

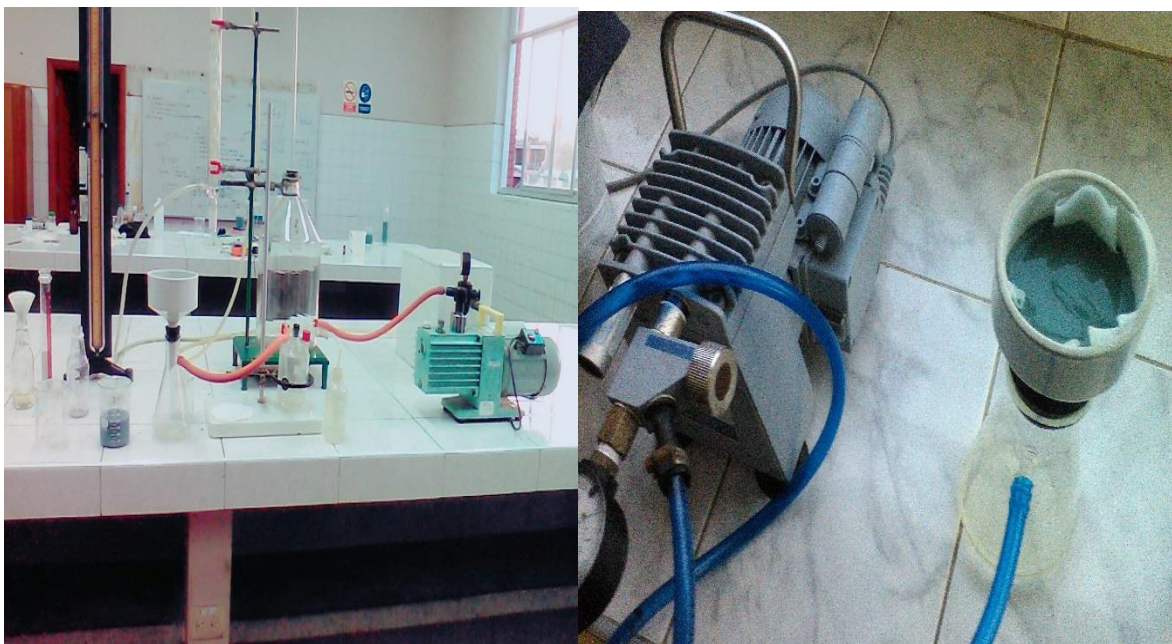


**Figura 16.** Precipitación de Cr después de 1 hora



**Figura 17.** Precipitación de Cr después de 8 horas

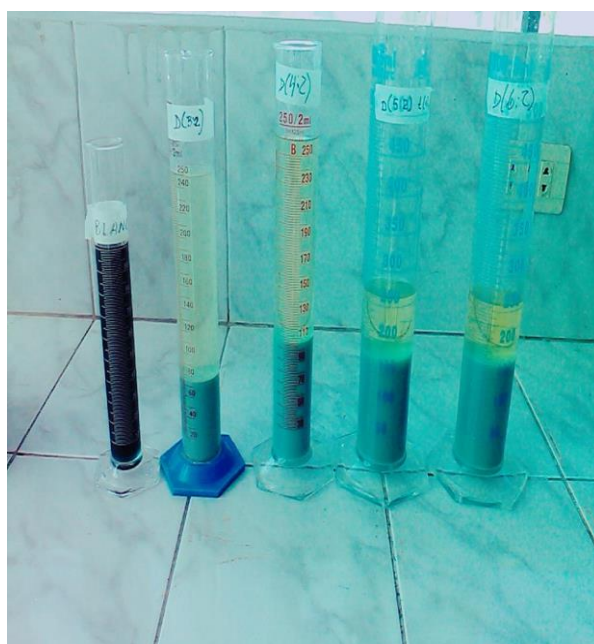




**Figura 18.** Filtración al vacío del hidróxido de cromo III precipitado



**Figura 19.** Hidróxido de cromo III precipitado



**Figura 20.** Blanco y aguas madres tratadas

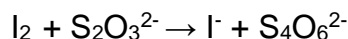
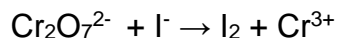
## ANEXO C.

### DETERMINACIÓN DE CROMO PRESENTE EN EL EFLUENTE DE CURTIDO POR EL METODO DE VOLUMETRÍA

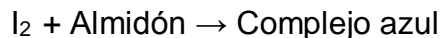
#### Procedimiento:

- Filtrar muestra y tomar 25 ml de muestra filtrada ( $V_{\text{muestra}} = 25,0 \text{ ml}$ ) en un matraz de 500 ml.
- Agregar 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  cc, agregar 10 ml de  $\text{HClO}_4$  cc
- Digestar (verde a amarillo)
- Adicionar 200 ml de agua destilada. Enfriar
- Adicionar 15 ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  85%
- Agregar 20 ml de KI
- Agregar almidón 1%. Se pone azul
- Titular con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  estándar ( $\text{NNa}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) hasta verde claro o transparente.

#### Reacción:



Almidón



#### Cálculos:

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left( \frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{\text{NNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{VNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{PmeqCr}_2\text{O}_3}{V_{\text{muestra}}} * 1000$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left( \frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{\text{NNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{VNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{PeqCr}_2\text{O}_3}{V_{\text{muestra en mL.}}}$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left( \frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{\text{NNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{VNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 \left( \frac{\text{PMCr}_2\text{O}_3}{\text{N}^\circ \text{electrones}} \right)}{V_{\text{muestra en mL.}}}$$

Reemplazando:

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left( \frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{0,1 * 61,9 * \left( \frac{152}{6} \right)}{25}$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left( \frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = 6,2722$$

$$6,2722 = \left[ \frac{2 \cdot 52}{152} \right] = 4,2915 \frac{\text{g Cr}}{\text{Lt}} \cdot 10\,000$$

$$\text{Cr} = 42\,915 \text{ ppm}$$

## ANEXO D. REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO



**SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA**  
**DELTAS S.R.L.**

---

**REPORTE DE ANÁLISIS**

Solicitante : ROBERTO ELI MENDOZA QUINTOS  
Muestra : AGUA RESIDUAL DE CURTIDO  
Procedencia : INVERSIONES HAROD SAC.  
Fecha de ingreso : 18 DE OCTUBRE DE 2016

MUESTRA	Concentración de cromo (ppm) <sup>(A)</sup>
D (3:2), t (1/2 hora)	20,6
D (4:2), t (1/2 hora)	27,4
D (5:2), t (1/2 hora)	36,0
D (6:2), t (1/2 hora)	44,5

(A) Método de Absorción atómica a la llama

Trujillo, 20 de octubre del 2016



  
**ING. NOÉ COSTILLA SÁNCHEZ**  
DIRECTOR

Urb. Monserrate 5ª Etapa Mz. D2 Lote 9 - Trujillo - Le Libertad - R.U.C. 20482155055  
Telef.: 044-280011 - 949 960633 - 949 564849. E-mail: deltas09@yahoo.com

**Figura 21.** Reporte de análisis de cromo a 30 minutos de agitación



## SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA **DELTAS** S.R.L.

### REPORTE DE ANÁLISIS

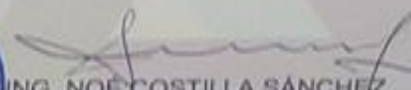
Solicitante : ROBERTO ELI MENDOZA QUINTOS  
Muestra : AGUA RESIDUAL DE CURTIDO  
Procedencia : INVERSIONES HAROD SAC.  
Fecha de ingreso : 18 DE OCTUBRE DE 2016

MUESTRA	Concentración de cromo (ppm) <sup>(A)</sup>
D (3:2), t (1 hora)	16,7
D (4:2), t (1 hora)	26,7
D (5:2), t (1 hora)	33,5
D (6:2), t (1 hora)	42,6

(A) Método de Absorción atómica a la llama

Trujillo, 20 de octubre del 2016



  
ING. NOÉ COSTILLA SÁNCHEZ  
DIRECTOR

Urb. Monserrate 5ª Etapa Mz. D2 Lote 9 - Trujillo - La Libertad. R.U.C. 20482155058  
Telef.: 044-280011 - 949 960633 - 949 564849. E-mail: deltas09@yahoo.com

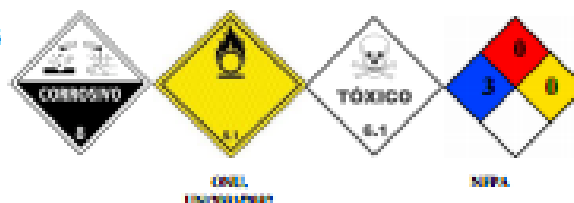
**Figura 22.** Reporte de análisis de cromo a 60 minutos de agitación

## ANEXO E. HOJAS DE SEGURIDAD



### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: ACIDO NITRICO  
Fecha de Revisión: Octubre 2016. Revisión N°5



#### SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

##### PRODUCTO

Nombre Químico: ACIDO NITRICO =  $\text{HNO}_3$   
Número CAS: 7697-37-2  
Sinónimos: Aqua Fortis, Acido Azotico, Nitrato de Hidrogeno, Hidróxido de Nitrilo.

COMPAÑÍA: GTM

##### Teléfonos de Emergencia

México : +52 55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00  
Guatemala: +502 6628 5858  
El Salvador: +503 2251 7700  
Honduras: +504 2564 5454  
Nicaragua: +505 2289 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395  
Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028  
Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1  
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)  
Perú: +511 614 65 00  
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1  
Argentina: +54 115 031 1774  
Brasil: +55 21 3591-1868

#### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

ACIDO NITRICO CAS : 7697-37-2 50-98% CONCENTRACIÓN

#### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo  
Clase 5.1 Oxidante  
Clase 6.1 Tóxico  
Clasificación NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0



## ANEXO F. ANALISIS ESTADÍSTICO

### 1. DOSIS

Medida: MEASURE\_1

DOSIS	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
3:2	42893,983	,963	42891,309	42896,658
4:2	42885,867	,858	42883,483	42888,250
5:2	42878,017	,909	42875,493	42880,541
6:2	42874,3	4,5	42861,8	42886,9

Según la estimación por intervalos, la dosis con 3:2 de hidróxido de sodio y óxido de magnesio es la de mayor remoción de cromo, con un 95% de confiabilidad.

### 3. TIEMPO

Medida: MEASURE\_1

TIEMPO	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
30	42880,708	1,395	42876,835	42884,581
60	42885,392	1,395	42881,519	42889,265

Según la estimación por intervalos, a 60 minutos de agitación del cromo es la que presenta mayor remoción de cromo, con un 95% de confiabilidad.

### Pruebas de normalidad<sup>a</sup>

	TIEMPO	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
REMOCIONCROMO	30	,107	12	,200 <sup>*</sup>	,953	12	,677
	60	,124	12	,200 <sup>*</sup>	,946	12	,575

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. No hay casos válidos para REMOCIONCROMO cuando TIEMPO = ,000. Los estadísticos no se pueden calcular para este nivel.

b. Corrección de significación de Lilliefors

### Comparaciones por parejas de dosis de NaOH y MgO

(I) DOSIS	(J) DOSIS	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
3:2	4:2	8,117 <sup>*</sup>	,165	,000	7,316	8,917
	5:2	15,967 <sup>*</sup>	,073	,000	15,614	16,319
	6:2	19,650	5,085	,108	-5,016	44,316
4:2	3:2	-8,1 <sup>*</sup>	,2	,0	-8,9	-7,3
	5:2	7,9 <sup>*</sup>	,1	,0	7,4	8,3
	6:2	11,5	5,0	,5	-12,6	35,6
5:2	4:2	-7,850 <sup>*</sup>	,094	,000	-8,307	-7,393
	3:2	-15,967 <sup>*</sup>	,073	,000	-16,319	-15,614
	6:2	3,683	5,026	1,000	-20,696	28,062
6:2	4:2	-11,533	4,967	,486	-35,627	12,560
	3:2	-19,650	5,085	,108	-44,316	5,016
	5:2	-3,683	5,026	1,000	-28,062	20,696

Se basa en medias marginales estimadas

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

b. Ajuste para varias comparaciones: Bonferroni.

La dosis con 3:2 de hidróxido de sodio y óxido de magnesio sigue siendo la mejor por la más alta diferencia de remoción (44,316), con un 95% de confiabilidad.